



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 198 54 168 C 2

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**C 21 D 8/00**  
B 21 D 53/28  
B 21 D 22/14

2

②① Aktenzeichen: 198 54 168.6-24  
②② Anmeldetag: 24. 11. 1998  
④③ Offenlegungstag: 5. 1. 2000  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 5. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Leico GmbH & Co. Werkzeugmaschinenbau, 59229  
Ahlen, DE

⑦④ Vertreter:  
Weber & Heim Patentanwälte, 81479 München

⑥① Zusatz zu: 197 24 661.3

⑦② Erfinder:  
Köstermeier, Karl-Heinz, 33397 Rietberg, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 31 11 249 A1  
US 56 71 628 A

DD 238073 A1/S.2, Abschnitt "Darlegung des  
Wesens

der Erfindung";

Patent Abstracts of Japan, C-432, 1987, Vol.11,  
No.202. JP 62-23930 A;

Wosnizok, Wolfgang: Werkstoffe kurz und  
übersicht-

lich, 15.Aufl., Leipzig: VEB Deutscher Verlag für  
Grundstoffindustrie, 1988, S.65,70;

Drückwalzen von Verzahnungen in  
Lamellenträgern,

In: Bänder Bleche Rohre, 1994, Nr. 1, S. 38;

⑤④ Verfahren zur Herstellung eines verzahnten Getriebeteils

⑤⑦ Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebe-  
teils, bei dem  
- ein Werkstück aus einem Stahlwerkstoff durch Drück-  
walzen umgeformt und  
- dabei eine Profilierung in das Werkstück eingeformt  
wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
- daß die Profilierung in das Werkstück bei einer Tempe-  
ratur unterhalb der Rekristallisationstemperatur des  
Stahlwerkstoffes drückgewalzt und dabei das Werkstück  
gezielt kaltverfestigt wird,  
- daß nach dem Umformen die Oberfläche des mit der  
Profilierung versehenen Werkstückes wärmeverzugsfrei  
gehärtet wird und  
- daß die Temperatur des Werkstücks während der wär-  
meverzugsfreien Härtung der Oberfläche unterhalb der  
Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes gehal-  
ten wird.

DE 198 54 168 C 2

DE 198 54 168 C 2

## Beschreibung

Die Anmeldung ist eine Zusatzanmeldung zum Hauptpatent DE 197 24 661. Die Offenbarung des Hauptpatents wird ausdrücklich auch zum Inhalt dieser Zusatzanmeldung gemacht.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei derartigen Verfahren ist es bekannt, durch eine radiale Verformung Körper zu stauchen und diese dabei mit einer Außen- oder Innenverzahnung zu versehen. Dies kann durch radiales Zustellen einer Verzahnungsrolle für eine Außenverzahnung oder durch Andrücken an einen außenverzahnten Drückdorn für eine Innenverzahnung erfolgen. Innen- und/oder außenverzahnte Teile werden beispielsweise bei Starterkränzen, Zahnrädern oder Laufverzahnungen eingesetzt. Ein gattungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Lamellenträgers für Automatikgetriebe ist beispielsweise aus dem Artikel: "Drückwalzen von Verzahnungen in Lamellenträgern", in: Bänder, Bleche, Rohre, 1/1994, Seite 28 bekannt.

Bei Zahnrädern von Getrieben kommt es besonders darauf an, eine harte, verschleißarme Schicht an den Zahnflanken der Verzahnungen zu erzeugen, damit beim Eindringen von Schmutzpartikeln keine Mikrorisse in den Oberflächen der Zahnflanken entstehen. Die Vermeidung solcher Mikrorisse ist wichtig, da diese zur Grübchenbildung in der Zahnflankenoberfläche und damit zur Zerstörung der Zahnflanken führen können.

Bei Getriebeteilen, bei welchen eine hohe mechanische Dauer- und Verschleißfestigkeit gefordert ist, werden Verfahren eingesetzt, welche die Verfahrensschritte mechanische Weichverarbeitung, Härten/Einsatzhärten und mechanische Hartbearbeitung aufweisen. Die zu fertigenden Teile werden zunächst aus einem Gußteil oder Halbzeug spanend herausgearbeitet. Voraussetzung für die mechanische Bearbeitung ist eine gute Spanbarkeit des Werkstoffs für das zu fertigende Teil. Dadurch können hohe Schnittgeschwindigkeiten realisiert werden, mit denen eine rationelle Fertigung möglich ist.

Eine Bearbeitung hochfester Werkstoffzustände ist schwierig. Außerdem ist eine Verfestigung des Werkstoffes während der Bearbeitung unerwünscht. Der Grund dafür ist die daraus resultierende Werkzeugbeanspruchung, die zum vorzeitigen Versagen dieser führt oder den Einsatz von teuren Hartmetallwerkzeugen notwendig macht. Außerdem entstehen bei der spanenden Bearbeitung von hochfesten Werkstoffzuständen hohe Temperaturen, die zur Veränderung der Mikrostruktur des zu bearbeitenden Werkstoffes führen können. Es kann beispielsweise zu Ausscheidungsvorgängen kommen, die eine Versprödung zur Folge haben.

Weiterhin können lokale Gefügeveränderungen die Ausbildung einer inhomogenen, rißanfälligen Struktur verursachen. Dem kann nur durch einen wesentlichen höheren Kühlmitelesatz, was im Hinblick auf die Umweltbelastung unerwünscht ist, und durch die Herabsetzung der Schnittgeschwindigkeit begegnet werden.

Die durch eine zerspanende Verarbeitung erzeugten Oberflächen weisen zudem Mikrorauigkeit mit Rauigkeitsspitzen und -tiefen auf. Bei einer statischen oder dynamischen Beanspruchung des gefertigten Bauteils tragen zunächst nur diese Spitzen. Die Folge ist eine rasche Ermüdung dieser Werkstoffbereiche, eine lokale plastische Verformung und letztendlich das Abplatzen einzelner Teilbereiche. Dies führt zur Bildung von Grübchen und Furchen auf der Oberfläche. Weiter sind die durch das Zerspanen entstandenen Mikrokerben mögliche Ansatzpunkte für die Ausbildung

von Rissen.

Daher erfolgt in den meisten Fällen nach der mechanischen Bearbeitung eine vollständige oder lokale Vergütung oder Einsatzhärtung des zu fertigenden Teiles. Dadurch wird die Verschleißneigung herabgesetzt, sowie die Dauerfestigkeit und die Tragfähigkeit des Teiles erhöht. Die Wärmebehandlung der Bauteile ist dabei immer mit Maßänderungen und Verzug verknüpft. Ursachen sind Eigenspannungen durch die Umwandlung des Gefüges und unterschiedliche Ausdehnung einzelner Bereiche, die zu örtlichen plastischen Verformungen führen. Weiterer Nachteil einer Wärmebehandlung ist die Verzunderung der Oberfläche der behandelten Teile und der dazu notwendige Zeit- und Energieaufwand, der zu einer Verteuerung des Fertigungsprozesses führt. Die wärmebehandelten Teile müssen anschließend maßhaltig geschliffen werden, was einen zusätzlichen Fertigungsaufwand bedeutet.

Im Hauptpatent DE 197 24 661 wird zur Herstellung eines Zahnrades ein mikrolegierter, hochfester Haustahl verwendet, der beim Drückwalzen maximal umgeformt wird. Dabei wird eine hohe innere Festigkeit der geformten Zähne nach dem Umformprozeß erreicht. Die gewünschte Endhärte wird durch eine anschließende wärmeverzugsfreie Härtung angestrebt, welche aufgrund des fehlenden Wärmeverzuges eine Nachbearbeitung des Werkstückes entbehrlich macht.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, bei dem profilierte, insbesondere verzahnte Getriebeteile bei einer hohen Dauer- und Verschleißfestigkeit einfach gefertigt werden können.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Das gattungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils, bei dem ein Werkstück aus einem Stahlwerkstoff durch Drückwalzen umgeformt wird und dabei eine Profilierung, insbesondere eine Verzahnung, in das Werkstück eingeformt wird, ist dadurch erfindungsgemäß weitergebildet, daß das Werkstück bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes drückgewalzt und dabei gezielt kaltverfestigt wird, daß nach dem Umformen die Oberfläche des mit der Profilierung versehenen Werkstückes wärmeverzugsfrei gehärtet wird und daß die Temperatur des Werkstücks während der wärmeverzugsfreien Härtung der Oberfläche unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes gehalten wird.

Durch eine entsprechende Wahl der beim Verfahren auftretenden Temperaturen wird zuverlässig die Rekristallisation des Stahls vermieden und so eine hochqualitative Härtung der Oberfläche bereitgestellt. Bei einem Umformen bis an die Streckgrenze des Stahlwerkstoffes, welcher ein üblicher Umformstahl oder der spezielle Stahl gemäß der Hauptanmeldung sein kann, wird eine hohe Kaltverfestigung erreicht. Beim anschließenden Härten kommt es dabei nicht allein darauf an, daß durch zu schnelle Temperaturveränderungen ein Verzug eintritt, sondern daß die Kaltverfestigung voll erhalten bleibt. Dies wird durch ein Härten unterhalb der Rekristallisationstemperatur erreicht. Diese ist abhängig vom Werkstoff sowie vom Umformgrad und kann unter 300°C liegen. Die beim Härten erreichte Härte addiert sich voll zu der beim Umformen erreichten Härte und Festigkeit, so daß für Getriebe einsetzbare hochfeste Teile herstellbar sind.

Das Verfahren wird bevorzugt in der Weise durchgeführt, daß die wärmeverzugsfreie Härtung der Oberfläche des Werkstückes durch galvanisches Auftragen einer harten Schicht erfolgt. Ein solches Auftragen einer galvanischen Schicht ist ohne Überschreitung der Rekristallisationstem-

peratur des Werkstoffes möglich. Dabei wird ein Verzug beim galvanischen Auftragen durch entsprechende Temperaturführung ausgeschaltet. Die Verzahnung bleibt sowohl im Hinblick auf die Festigkeit als auch geometrisch unverändert. Es kommt lediglich eine zusätzliche Schicht durch das galvanische Auftragsverfahren hinzu. Das galvanische Auftragen kann sowohl bei einem legierten als auch bei einem unlegierten Stahl erfolgen. Die erreichbaren Schichtdicken sind um ein Vielfaches größer als etwa beim Härten durch Ionenimplantation. Zum Härten können jedoch auch die Härt- und Beschichtungsverfahren eingesetzt werden, die in der Hauptanmeldung beschrieben sind, wobei jedoch auf die erfindungsgemäße Temperaturführung zu achten ist.

Es kann auch vorteilhaft sein, daß die wärmeverzugsfreie Härtung der Oberfläche des Werkstückes durch Einsatz eines Lasers erfolgt. Der Einsatz eines getakteten oder gepulsten Lasers ermöglicht eine gezielte, lokal begrenzte thermische Härtung in einer sehr kurzen Zeit, so daß keine Erwärmung des Restwerkstoffes bis in Bereiche der Rekristallisationstemperatur eintritt. Die Geometrie der Verzahnung bleibt aufgrund der punktuellen Erwärmung unverändert. Ferner wird die Qualität der bereits verfestigten Zahnflankenoberfläche durch den Lasereinsatz nochmals verbessert, indem Rauigkeitsspitzen beseitigt werden. Durch den Einsatz eines Lasers kann eine Schichttiefe erzeugt werden, die um ein Vielfaches größer ist als die beim Ionenimplantieren erreichte Schichtdicke.

Bevorzugt erfolgt die wärmeverzugsfreie Härtung durch Einsatz eines Lasers in einer Oberflächenschicht von etwa 0,2 mm. Eine Härtung mit der genannten Schichtdicke gelingt in sehr kurzer Zeit. Dies bringt gleichzeitig mindestens zwei Vorteile mit sich. Zum einen wird durch die Kürze der Einsatzzeit des Lasers eine Erwärmung des Werkstückes in Bereiche der Rekristallisationstemperatur zuverlässig verhindert. Zum anderen werden kurze Stückzeiten erreicht, so daß höchst effizient gearbeitet werden kann. Zudem kann das Getriebeteil in einer Einspannung auf einer Drückwalzmaschine endgeformt sowie mit einem Laser an der Maschine gehärtet und somit komplett bearbeitet werden.

Weiter ist vorteilhaft, wenn das Härten der Oberfläche des Werkstückes unter Einsatz eines Schutzgases durchgeführt wird. Das Schutzgas wird auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur, insbesondere auf Raumtemperatur gehalten. Das inerte Schutzgas ist vorzugsweise Argon, Helium oder ein Gemisch daraus.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Verzahnung durch einen Laser entgratet. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn auch die Härtung unter Einsatz eines Lasers erfolgt. Damit kann der Laser in Doppelfunktion eingesetzt werden, was den apparativen Aufwand vermindert.

Eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens besteht darin, daß das Schutzgas in Strömung versetzt wird und daß das Werkstück zumindest in dem zu härtenden Bereich gezielt mit dem Schutzgas angeströmt und auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur gekühlt wird. Das Schutzgas dient dabei als ein Kühlmittel, welche die erfindungsgemäße Temperaturführung unterstützt.

Dabei ist es bevorzugt, daß der Laser einen Laserstrahl erzeugt und daß parallel zu dem Laserstrahl ein Schutzgasstrom erzeugt wird, der den Laserstrahl umhüllt und von der Umgebungsatmosphäre abschirmt. Der Schutzgasstrom schirmt die Bearbeitungsstelle von der umgebenden Sauerstoffatmosphäre ab, so daß eine unverwünschte Verzunderung der Werkstoffoberfläche verhindert wird. Des weiteren werden durch den Schutzgasstrom abgebrannte Werkstückteile von der Bearbeitungsstelle entfernt.

Eine besonders hohe Härte der Werkstückoberfläche wird

nach der Erfindung dadurch erreicht, daß dem Schutzgas Diffusionselemente beigemengt werden. Diese Diffusionselemente können beispielsweise Stickstoff, Bar, Kohlenstoff oder ein Siliziumdampf ( $\text{SiCl}_4$ ) sein. Im Bereich der kurzzeitigen, punktuellen Erwärmung der Werkstückoberfläche mittels des Lasers können diese Diffusionselemente in den Werkstoff eindiffundieren und so zu einer weiteren Erhöhung der Härte der Randschicht beitragen.

Um eine unerwünschte Erwärmung des Werkstoffes über die Rekristallisationstemperatur beim Härten zu vermeiden, kann das Härten in mehreren Schritten durchgeführt werden. Dabei ist es erfindungsgemäß, daß in einem ersten Schritt das Werkstück gehärtet und erwärmt wird, bis eine definierte obere Temperatur erreicht wird, die unterhalb der Rekristallisationstemperatur liegt, daß das Härten unterbrochen und das Werkstück abgekühlt wird, bis das Werkstück eine definierte untere Temperatur erreicht hat, die unterhalb der oberen Temperatur liegt, und daß der erste Schritt so oft wiederholt wird, bis das Werkstück die vorgesehene Härte erreicht hat. Grundsätzlich ist es dabei möglich, daß für die einzelnen Schritte unterschiedliche Härtverfahren eingesetzt werden.

Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß, ausgehend von praktisch beliebigen Stählen, Getriebeteile wie Zahnräder oder Kupplungslamellenträger mit hoher Oberflächenhärte erzeugt werden können. Dies wird dadurch ermöglicht, daß bestimmte Temperaturbedingungen bei der Durchführung des Verfahrens berücksichtigt werden. Entscheidend ist dabei, daß weder während des Drückwalzens noch bei der nachfolgenden wärmeverzugsfreien Härtung die Rekristallisationstemperatur des Werkstoffes überschritten wird. Da insbesondere kein lang andauernder Wärmeprozess zur Härtung in der Fertigungskette erforderlich ist, reduziert sich die Herstellungszeit eines Werkstücks von bisher mehreren Stunden drastisch auf höchstens wenige Minuten.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils, bei dem
  - ein Werkstück aus einem Stahlwerkstoff durch Drückwalzen umgeformt und
  - dabei eine Profilierung in das Werkstück eingeformt wird,
 dadurch gekennzeichnet,
  - daß die Profilierung in das Werkstück bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes drückgewalzt und dabei das Werkstück gezielt kaltverfestigt wird,
  - daß nach dem Umformen die Oberfläche des mit der Profilierung versehenen Werkstückes wärmeverzugsfrei gehärtet wird und
  - daß die Temperatur des Werkstücks während der wärmeverzugsfreien Härtung der Oberfläche unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes gehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in das Werkstück beim Umformen eine Verzahnung eingeformt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten der Oberfläche des Werkstückes durch galvanisches Auftragen einer harten Schicht erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten der Oberfläche des Werkstückes durch Einsatz eines Lasers erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,



net, daß zum Härten der Oberfläche des Werkstückes ein getakteter Laser benutzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten mittels des Lasers auf eine Schichttiefe bis höchstens 0,2 mm unterhalb der Oberfläche des Werkstückes begrenzt wird. 5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten der Oberfläche des Werkstückes unter Einsatz eines Schutzgases durchgeführt wird, welches auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur gehalten wird. 10

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Schutzgas auf Raumtemperatur gehalten wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Schutzgas in Strömung versetzt wird und daß das Werkstück zumindest in dem zu härtenden Bereich gezielt mit dem Schutzgas angeströmt und auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur gekühlt wird. 15 20

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten in mehreren Schritten durchgeführt wird,

daß in einem ersten Schritt das Werkstück gehärtet und erwärmt wird, bis eine definierte obere Temperatur erreicht wird, die unterhalb der Rekristallisationstemperatur liegt, 25

daß das Härten unterbrochen und das Werkstück abgekühlt wird, bis das Werkstück eine definierte untere Temperatur erreicht hat, die unterhalb der oberen Temperatur liegt, und 30

daß der erste Schritt so oft wiederholt wird, bis das Werkstück die vorgesehene Härte erreicht hat.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück durch einen Laser entgratet wird. 35

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Schutzgas Diffusions-elemente beigemischt werden. 40

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser einen Laserstrahl erzeugt und daß parallel zu dem Laserstrahl ein Schutzgasstrom erzeugt wird, der den Laserstrahl umhüllt und von der Umgebungsatmosphäre abschirmt. 45 50

50

55

60

65